

HIGH STRENGTH VALVE SPRING AND ITS MANUFACTURE

Patent number: JP11246941

Publication date: 1999-09-14

Inventor: AOKI TOSHINORI; WAKITA MASAMI; SAKAKIBARA TAKAYUKI

Applicant: CHUO SPRING CO LTD

Classification:

- international: C22C38/00; C21D7/06; C21D9/02; C21D9/52;
C22C38/34; C23C8/26; F01L3/10

- european:

Application number: JP19980064112 19980227

Priority number(s):

Also published as:

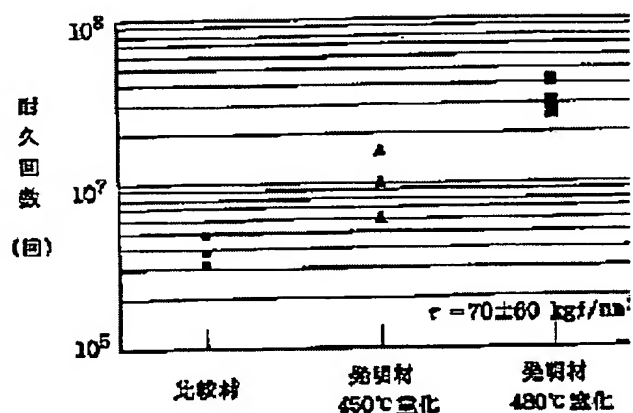


JP11246941

Abstract of JP11246941

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a valve spring having fatigue strength higher than that of the conventional one and reduced in settling by selecting an optimum stock and properly combining subsequent spring manufacturing stages.

SOLUTION: A steel, which has a composition containing, by weight, 0.5-0.8% C, 1.2-2.5% Si, 0.4-0.8% Mn, 0.7-1.0% Cr, $\leq 0.005\%$ Al and $\leq 0.005\%$ Ti and in which the maximum nonmetallic inclusion is regulated to $15 \mu\text{m}$, is used as a stock. At the time of oil tempering treatment, hardening temperature is regulated to 950 to 1,100 deg.C. After coiling, nitriding treatment is applied at ≥ 480 deg.C to regulate surface hardness to $\geq \text{Hv } 900$ and then shot peening is applied at least twice by using shots of $\geq \text{Hv } 720$ to regulate compressive residual stress in the vicinity of surface to $\geq 130 \text{ kgf/mm}^2$.



Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-246941

(43) 公開日 平成11年(1999) 9月14日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	F 1	
C 2 2 C 38/00	3 0 1	C 2 2 C 38/00	3 0 1 Y
C 2 1 D 7/06		C 2 1 D 7/06	A
9/02		9/02	A
9/52	1 0 3	9/52	1 0 3 B
C 2 2 C 38/34		C 2 2 C 38/34	

審査請求 未請求 請求項の数12 F D (全 7 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-64112
(22) 出願日 平成10年(1998) 2月27日

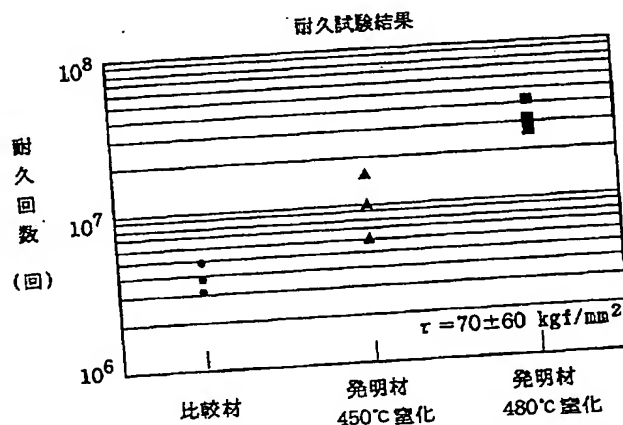
(71) 出願人 000210986
中央発條株式会社
愛知県名古屋市緑区鳴海町字上汐田68番地
(72) 発明者 青木 利憲
名古屋市緑区鳴海町字上汐田68番地 中央
発條株式会社内
(72) 発明者 脇田 将見
名古屋市緑区鳴海町字上汐田68番地 中央
発條株式会社内
(72) 発明者 榊原 隆之
名古屋市緑区鳴海町字上汐田68番地 中央
発條株式会社内
(74) 代理人 弁理士 小林 良平 (外 1 名)

(54) 【発明の名称】 高強度弁ばね及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 最適の素材を選択した上、その後のばねの製造工程を適切に組み合わせることにより、従来のものよりも疲労強度を上昇し、へたりを減少した弁ばねを提供する。

【解決手段】 素材として、C: 0.5~0.8% (重量比)、Si: 1.2~2.5%、Mn: 0.4~0.8%、Cr: 0.7~1.0%、Al: 0.005%以下、Ti: 0.005%以下であって、最大非金属介在物が15 μ mである鋼を使用する。オイルテンパー処理の際、焼入れ加熱温度を950℃以上1100℃以下とする。コイリング後、480℃以上で窒化処理を施して表面硬さをHv900以上とした上、Hv720以上のショット球を用いて少なくとも2回のショットピーニングを施して、表面近傍の圧縮残留応力が130 kgf/mm²以上となるようにする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 重量比にしてC：0.5～0.8%、Si：1.2～2.5%、Mn：0.4～0.8%、Cr：0.7～1.0%を含有し、残部Fe及び不可避免の不純物から成り、不可避免の不純物であるAl含有量が0.005%以下、同Ti含有量が0.005%以下であって、最大非金属介在物が15 μ mである鋼に、焼入れ加熱温度を950℃以上1100℃以下として焼入れ・焼戻しを施したオイルテンパー線を素材として使用し、コイルング後、窒化処理を施し、更に、Hv720以上のショット球を用いてショットピーニングを施したことを特徴とする高強度弁ばね。

【請求項2】 素材鋼が更に、V：0.05～0.15%、Mo：0.05～0.5%、W：0.05～0.15%、Nb：0.05～0.15%のうち1種以上を含有する請求項1記載の高強度弁ばね。

【請求項3】 焼入れ焼戻し後のオイルテンパー線において、残留オーステナイトが体積率で1～5%である請求項1又は2記載の高強度弁ばね。

【請求項4】 焼入れ焼戻し後のオイルテンパー線において、粒子径が0.05 μ m以上である炭化物の組織内密度が、組織観察写真上で5ヶ/ μ m²以下である請求項1～3のいずれかに記載の高強度弁ばね。

【請求項5】 窒化処理を480℃以上で行ない、表面硬さをHv900以上とした請求項1～4のいずれかに記載の高強度弁ばね。

【請求項6】 該ショットピーニングを少なくとも2回施し、表面近傍の圧縮残留応力を130kgf/mm²以上とした請求項1～5のいずれかに記載の高強度弁ばね。

【請求項7】 重量比にしてC：0.5～0.8%、Si：1.2～2.5%、Mn：0.4～0.8%、Cr：0.7～1.0%を含有し、残部Fe及び不可避免の不純物から成り、不可避免の不純物であるAl含有量が0.005%以下、同Ti含有量が0.005%以下であって、最大非金属介在物が15 μ mである鋼に、焼入れ加熱温度を950℃以上1100℃以下として焼入れ・焼戻しを施したオイルテンパー線を素材として使用し、コイルング後、窒化処理を施し、更に、Hv720以上のショット球を用いてショットピーニングを施すことを特徴とする高強度弁ばねの製造方法。

【請求項8】 素材鋼が更に、V：0.05～0.15%、Mo：0.05～0.5%、W：0.05～0.15%、Nb：0.05～0.15%のうち1種以上を含有する請求項7記載の高強度弁ばねの製造方法。

【請求項9】 焼入れ処理において、加熱速度150℃/sec以上で、1100℃以下でT(℃)＝500＋750・C(炭素量%)＋500・V(バナジウム量%)で決まる温度以上(ただし、950℃以上)の範囲に加熱し、加熱開始から水又は油による冷却開始までの時間を15秒以内とする請求項7又は8に記載の高強度

弁ばねの製造方法。

【請求項10】 焼戻し処理において、加熱速度150℃/sec以上で、450℃～600℃に加熱し、加熱開始から水等の冷媒を用いた冷却開始までの時間を15秒以内とする請求項7～9のいずれかに記載の高強度弁ばねの製造方法。

【請求項11】 窒化処理を480℃以上で行ない、表面硬さをHv900以上とした請求項7～10のいずれかに記載の高強度弁ばねの製造方法。

【請求項12】 該ショットピーニングを少なくとも2回施す請求項7～11のいずれかに記載の高強度弁ばねの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、主に自動車用内燃機関の弁ばねとして用いられる、耐疲労性・耐へたり性及び耐遅れ破壊性に優れた高強度弁ばね及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】内燃機関の弁ばね用線材として、JISには弁ばね用オイルテンパー線(SW0-V：JIS G3561)、弁ばね用クロムバナジウム鋼オイルテンパー線(SW0CV-V：JIS G3565)、及び、弁ばね用シリコンクロム鋼オイルテンパー線(SW0SC-V：JIS G3566)等が規定されているが、従来、耐疲労強度及び耐へたり性に優れたSW0SC-Vが主に利用されてきた。

【0003】一方、環境保護及び資源保護の観点より、自動車に対しては排気の清浄化及び燃費向上への努力が常に要請されているが、これらに対して大きく寄与するのが車体の軽量化であり、車体を構成する各部品についても軽量化への努力がたゆまず続けられている。

【0004】このため、弁ばね用線材についても、疲労強度を更に高め、へたりを低下させるための提案が種々なされている。例えば、特開平8-176730号公報では、重量%でC：0.5～0.8%、Si：1.2～2.5%、Mn：0.4～0.8%、Cr：0.7～1.0%を含有し、残部Fe及び不可避免の不純物から成り、不可避免の不純物であるAl含有量が0.005%以下、同Ti含有量が0.005%以下である鋼に焼入れ加熱温度を950℃以上1100℃以下として焼入れ焼戻しを施したオイルテンパー線が、高強度弁ばね用として提案されている(請求項1)。この公報では更に、素材鋼にV：0.05～0.15%を含有させたオイルテンパー線(請求項2)、それに加えてMo：0.05～0.5%、W：0.05～0.15%、Nb：0.05～0.15%のうち少なくとも1種以上を含有させたオイルテンパー線(請求項3)が提案されている。また、同一出願人に係る特開平9-71843号公報では、同様の成分量を含有する鋼を用い、焼入れ焼戻し後の残留 γ (オーステナイト)を体積比で1～5%とした高靱性

ばね用オイルテンパー線を提案している（請求項1、2）。この公報ではまた、焼入れ焼戻し後において、粒子径が $0.05\mu\text{m}$ 以上である炭化物の組織内密度が、組織観察写真上で $5\text{ヶ}/\mu\text{m}^2$ 以下であるとしたオイルテンパー線も提案し（請求項3、4）、これらの組み合わせでもよいとしている（請求項5、6）。そして、その具体的製造方法として、請求項1、2、5、6の場合には焼入れ焼戻し工程における焼戻しを加熱速度 $150^\circ\text{C}/\text{sec}$ 以上で $450\sim 600^\circ\text{C}$ に加熱し、加熱開始から水等の冷媒を用いた冷却開始までの時間を15秒以内とすること、請求項3、4、5、6の場合には、焼入れ加熱を加熱速度 $150^\circ\text{C}/\text{sec}$ 以上で 1100°C 以下で $T(^\circ\text{C}) = 500 + 750 \cdot C$ （炭素量） $+ 500 \cdot V$ （バナジウム量）で決まる温度以上の範囲に加熱し、加熱開始から水又は油による冷却開始までの時間を15秒以内とすること、等を開示している。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来提案されているものは多くは素材としての鋼か、せいぜい上記のような線材（オイルテンパー線）段階までであり、最終製品である弁ばねを製造する段階まで、高疲労強度・耐へたり性を実現するための方策を規定したものはなかった。しかし、いかに良好な素材を用いたとしても、その後の製造工程が不適切であれば素材の性能が十分に発揮されないばかりか、弁ばねの製造自体を困難にし、場合によっては逆に疲労強度や耐へたり性を悪化させる危険性がある。

【0006】本発明はこのような課題を解決するために成されたものであり、その目的とするところは、最適の素材を選択した上、その後のばねの製造工程を素材に応じた適切なものとするにより、従来のものよりも耐疲労性、耐へたり性を向上した弁ばねを提供することにある。具体的には、耐疲労性においては、弁ばね素線の剪断応力 $\tau = 70 \pm 60\text{kgf}/\text{mm}^2$ で 2.5×10^7 回以上の繰返し負荷に耐えるとともに、耐へたり性においては、表面の最大剪断応力 $\tau_{\text{max}} = 100\text{kgf}/\text{mm}^2$ で $120^\circ\text{C} \times 48$ 時間保持したときの残留剪断歪 γ が 8×10^{-5} 以下となるような高強度弁ばねを提供するものである。また、本発明では、遅れ破壊に対する耐性をも考慮して、その特性の向上を図っている。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために成された本発明に係る高強度弁ばねは、i) 重量比にしてC: $0.5 \sim 0.8\%$ 、Si: $1.2 \sim 2.5\%$ 、Mn: $0.4 \sim 0.8\%$ 、Cr: $0.7 \sim 1.0\%$ を含有し、残部Fe及び不可避免の不純物から成り、不可避免の不純物であるAl含有量が 0.005% 以下、同Ti含有量が 0.005% 以下であって、最大非金属介在物が $15\mu\text{m}$ である鋼に、ii) 焼入れ加熱温度を 950°C 以上 1100°C 以下として焼入れ・焼戻しを施したオイル

テンパー線を素材として使用し、iii) コイリング後、窒化処理を施し、更に、Hv720以上のショット球を用いてショットピーニングを施した、ことを特徴とするものである。

【0008】ここで、上記i)の素材鋼は更に、V: $0.05 \sim 0.15\%$ 、Mo: $0.05 \sim 0.5\%$ 、W: $0.05 \sim 0.15\%$ 、Nb: $0.05 \sim 0.15\%$ のうち1種以上を含有してもよい。

【0009】また、上記ii)の焼入れ焼戻し後のオイルテンパー線において、残留オーステナイトが体積率で $1 \sim 5\%$ となるようにするとよい。

【0010】同様に、上記ii)の焼入れ焼戻し後のオイルテンパー線において、粒子径が $0.05\mu\text{m}$ 以上である炭化物の組織内密度が、組織観察写真上で $5\text{ヶ}/\mu\text{m}^2$ 以下となるようにするとよい。

【0011】上記iii)の窒化処理は、望ましくは 480°C 以上で行ない、表面硬さをHv900以上とする。また、ショットピーニングは1回でもよいが、2回以上行ない、表面近傍の圧縮残留応力を $130\text{kgf}/\text{mm}^2$ 以上とすることにより、より高強度の弁ばねを得ることができる。

【0012】

【発明の実施の形態】本発明の高強度弁ばねではまず、素材鋼のシリコン含有量を従来の弁ばね用シリコンクロム鋼オイルテンパー線（SWOSC-V）よりも高く、 $1.2 \sim 2.5\%$ とした。シリコンはフェライト及びマルテンサイト中に固溶してそれらを強化するとともに、マルテンサイト相の焼戻し時の〔フェライト+炭化物〕への分解を遅らせる作用を有する。つまり、オイルテンパー処理時の相分解温度を高温側にシフトさせるため、同じ引張強さを得るための焼戻し温度を従来よりも高くすることができる。焼戻し温度の上昇は、転位の回復を促進し、組織を安定化する。これは、疲労亀裂の起点を発生し難くすることから、時間疲労強度を上げ且つ疲労限度を上昇させる。また、遅れ破壊強度をも向上させる。

【0013】焼戻し温度の上昇は、弁ばね使用時の温度上昇による組織変化を防止し、転位の移動を困難にする。これは、耐へたり性の向上に大きく寄与する。

【0014】従来、弁ばねの表面硬さを上昇させる有効な方法として、表面窒化処理が行なわれていた。窒化処理は、高温で行なうほど窒素の鋼中への侵入が容易となり、高い表面硬さを得ることができることは十分理解されているが、窒化処理の温度がオイルテンパー処理の焼戻し温度を越えると、線材の内部硬さが低下して、疲労強度や耐へたり性に悪影響を及ぼす。このため、従来、窒化処理温度を上げることは不可能と考えられていた。本発明では、上記の通り、シリコンの強化作用を利用して焼戻し温度を上昇させることにより、高温窒化処理を可能とし、これによる表面硬さの上昇並びに疲労強度及び耐へたり性の向上を目指したものである。なお、表面

硬さを上昇させたことに伴い、それに応じたショットピーニング処理を施すことをも規定したものである。

【0015】上記の基本的な思想の下、本発明では上記特開平8-176730号及び特開平9-71843号で提案されたオイルテンパー線を素材として採用することとした。従って、その成分及び組織限定条件は同公報の記載を借りて以下に説明する。

【0016】C：0.5～0.8重量% Cは鋼線の強度を高めるために必須の元素であるが、0.5%未満では十分な強度が得られず、逆に0.8%を越えると靱性が低下し、さらに鋼線の疵感受性が増大し、信頼性が低下するためである。

【0017】Si：1.2～2.5重量% Siは上記の通りフェライト及びマルテンサイトの強度を向上させ、耐へたり性を向上させるのに有効な元素である。1.2%未満ではその十分な効果が無く、逆に2.5%を越える場合は冷間加工性を低下させるとともに熱間加工性及び熱処理による脱炭を助長するからである。

【0018】Mn：0.4～0.8重量% Mnは鋼の焼入れ性を向上させ、鋼中のSを固定してその害を阻止するが、0.4%未満ではその効果がなく、逆に0.8%を越えると靱性が低下するためである。

【0019】Cr：0.7～1.0重量% CrはMn同様、鋼の焼入れ性を向上させ、かつ熱間圧延後のパテンティング処理により靱性を付与し、焼入れた後、焼戻し時の軟化抵抗性を高め、高強度化するのに有効な元素である。0.7%未満ではその効果が少なく、逆に1.0%を越えると炭化物の固溶を抑制し、強度の低下を招くとともに、焼入れ性の過度の増大となつて靱性をもたらすためである。

【0020】V：0.05～0.15重量% Vは焼戻し時に炭化物を形成し、軟化抵抗を増大させる元素であるが、0.05%未満ではその効果が少ない。また、0.15%を越えると焼入れ加熱時に炭化物を多く形成し、靱性の低下をまねくからである。

【0021】Mo：0.05～0.5重量% Moは焼戻し時に炭化物を形成し、軟化抵抗を増大させる元素であるが、0.05%未満ではその効果は少なく、また0.5%を越えると焼入れ加熱時に炭化物を多く形成し、靱性の低下をまねくからである。

【0022】Nb：0.05～0.15重量% Nbは焼戻し時に炭化物を形成し、軟化抵抗を増大させる元素であるが、0.05%未満ではその効果が少ない。また、0.15%を越えると焼入れ加熱時に炭化物を多く形成し、靱性の低下をまねくからである。

【0023】Al、Ti：0.005重量%以下 これらはいずれも高融点非金属介在物である Al_2O_3 、TiOを形成する。これらの介在物は硬質で、鋼線表面直下に存在した場合、疲労強度を著しく低下させる。このため、不可避的不純物とはいえ、いずれも0.005

%以下とした。原料において、これら不純物濃度が低いものを用いればよい。

【0024】焼入れ加熱温度：950℃以上1100℃以下

焼入れ加熱温度によって焼入れ時のV等の固溶量が決まり、温度が高いほど固溶量も大きい。950℃未満ではV等の固溶量が小さくなり、炭化物が多く析出する。また、1100℃において本発明におけるV、W、NbはそのほとんどがFe中に固溶していると考えられるので、1100℃を越えても靱性の向上、軟化抵抗の増大は認められないからである。

【0025】窒化処理：480℃以上、表面硬さHv900以上

窒化処理はオイルテンパー処理後に行われるため、オイルテンパー処理時の焼戻し温度を越えることはできない。従来のオイルテンパー線では焼戻し温度が最高でも450℃以下であったため、窒化処理も必然的にその温度以下とせざるを得なかった。しかし、本願発明に係る高強度弁ばねでは、前記の通り素材に高シリコン鋼を使用したため、オイルテンパー時の焼戻し温度を高くすることができた。これにより、窒化処理も480℃以上という高温で行うことが可能となったものである。

【0026】あらゆる化学処理は一般に高温になればなるほど活性化される。窒化処理の場合、このように高温で行うことにより、窒素(N)がより鋼中に侵入しやすくなり、ばねの表面を硬化させることが可能となる。480℃以下の温度では十分な表面硬さを得ることができないためであり、また、Hv900以下では従来のものよりも高い疲労強度を得ることができないためである。

【0027】ショットピーニング：Hv720以上のショット球/少なくとも2回

ショットピーニングは弁ばねの表面に圧縮残留応力を付与することにより、弁ばね使用時に表面に作用する最大剪断応力を実質的に低下させ、疲労強度を著しく改善させる。本発明に係る高強度弁ばねでは上記のように表面硬さをHv900以上と非常に硬くしたため、通常の硬さのショット球では十分な圧縮残留応力を付与することができない。Hv720以上のショット球という条件は、上記表面硬さを有する弁ばねに対して従来同様あるいはそれ以上の圧縮残留応力を付与するのに必要な条件として導き出されたものである。また、2回以上のショットピーニングを施すことにより、圧縮残留応力値をより大きくし、疲労強度を高めることができる。具体的には、表面近傍の圧縮残留応力値を130kgf/mm²以上とすることにより、疲労強度を大きく向上させることができる。

【0028】残留オーステナイト(γ)：1～5体積率%

焼戻しマルテンサイト中に存在する残留オーステナイト相は鋼の靱性を向上させるが、体積率1%未満ではその

効果がなく、5%を越えればばね使用中のマルテンサイト変態によりへたり量が増える危険性があるからである。

【0029】粒子径0.05 μm 以上の炭化物の組織内密度：5ヶ/ μm^2 以下

粒子径0.05 μm 以上の炭化物は組織内に存在すると、ばね成形時等において破壊の起点となり得る。この存在密度が組織観察写真上で5ヶ/ μm^2 を越えると靱性が著しく低下するからである。

【0030】これらの残留オーステナイト量及び/又は炭化物量の規定は、次のような熱処理方法により実現することが望ましい。

【0031】焼入れ焼戻し工程における焼入れ加熱に関しては、加熱速度150℃/sec以上で、1100℃以下で $T(℃) = 500 + 750 \cdot C + 500 \cdot V$ で決まる温度以上（ただし、950℃以上）の範囲に加熱し、加熱開始から水又は油による冷却開始までの時間を15秒以内とする。

【0032】冷却開始までの時間を15秒以内としなければ結晶粒が粗大化し、靱性が劣化し、加熱速度が150℃/sec以下であれば冷却開始までの15秒間で十分な炭化物の固溶ができない。また、加熱温度が1100℃以上であれば結晶粒粗大化による靱性劣化や脱炭が起こり、 $T(℃) = 500 + 750 \cdot C + 500 \cdot V$ 以下であれば、十分な炭化物の固溶ができない。

【0033】焼入れ焼戻し工程における焼戻し加熱に関しては、加熱速度150℃/sec以上で、450℃～600℃に加熱し、加熱開始から水等の冷媒を用いた冷却開始までの時間を15秒以内とする。

【0034】加熱速度を150℃/sec、冷却開始までの時間を15秒以内としなければ、残留オーステナイト相が体積率1%未満に消失してしまうためである。

【0035】

【実施例】以下に、従来より一般に広く用いられているシリコンクロム鋼オイルテンパー線（SWOSC-V）にバナジウムを少量添加した鋼を比較材として、本発明に係る高強度ばねの特性を実験結果により明らかにする。実験に用いた発明材及び比較材の化学組成を図1に示す。

【0036】これらの両供試材は、共に真空溶解炉で溶製した後、熱間鍛造、熱間圧延により6.5mm径の線材

（素線）とした。この素線から $\phi 3.2\text{mm}$ オイルテンパー線を得るまでの工程は図2に示す通りである。オイルテンパー処理は各供試材により異なり、それぞれ図3に示す条件で行った。オイルテンパー線の状態における両供試材の引張強さ及び絞りは図4の通りであった。

【0037】こうして得たオイルテンパー線より、図5に示す諸元を有するばねを成形した。ばね成形後、図6に示す条件で窒化処理を施した。発明材は、窒化温度を従来同様の450℃と、更に高温とした480℃で行なったが、図7に示す通り、窒化温度を高くすること

により表面硬さが上がり、また、硬化深さも大きくなっている。なお、当然、高温処理により内部硬さはやや下がっているが、それでも、480℃窒化処理材の内部硬さは比較材の通常窒化処理材のそれとほぼ同等であり、窒化深さも比較材とほぼ同等となっている。従って、本発明材は内部強度を同等に保持したまま、表面硬さを従来よりも上昇させることが可能となっている。なお、同等の内部硬さを得るために比較材よりも高い温度で窒化処理を施していることから、耐へたり性に関して、従来よりも安定性に優れていることが予想される。これらの特性については後述する。

【0038】窒化後、図8に示す条件でショットピーニングを行った。本発明材では、図7に示す通り表面硬さが高いため、従来よりも硬いショット球を用いる必要がある。ショットピーニング後の表面の残留応力分布を測定した結果を図9に示す。

【0039】こうして作製したばねについて、疲労強度、耐へたり性及び遅れ破壊強度について試験した結果を図10～図12により説明する。

【0040】図10は、ばね素線表面の剪断応力が $\tau = 70 \pm 60 \text{ kgf/mm}^2$ となるような負荷をばねに繰り返し付与したときの、折損までの回数（耐久回数）をプロットしたグラフである。図10に示す通り、発明材は窒化温度にかかわらず比較材よりも良好な疲労強度を有していることがわかるが、発明材では窒化温度が高い方が耐久回数が上昇しており、本発明が目的とした窒化による表面硬化が耐疲労性に有効に作用していることがわかった。また、窒化温度を480℃としたときの試験片の耐久回数はいずれも目標の 2.5×10^7 回を上回っており、統計上、B10寿命線（全試験片中の10%が折損する繰返し回数）が 2.5×10^7 回以上となることが示されている。

【0041】図11は、表面の最大剪断応力が $\tau = 100 \text{ kgf/mm}^2$ となるような固定負荷を供試ばねに付与した状態で、ばねを120℃の雰囲気下に置き、48時間放置した後の残留剪断歪 γ を測定した結果のグラフである。図11では、窒化温度による差は現われていないものの、いずれの窒化処理を行なっても発明材は比較材よりも良好な耐へたり性を有することが示されており、 $\gamma = 8 \times 10^{-5}$ 以下という目標値を満足している。

【0042】図12は、遅れ破壊特性を評価した試験の結果を示すものである。すなわち、ばねにコイルリングした後に生成する残留応力の値を種々に変化させ、各応力値においてクラック（割れ）が発生するまでの時間を測定した結果を表わすグラフである。本発明材は、クラック発生時間が比較材よりも遙かに長くなっていることがわかる。

【0043】

【発明の効果】本発明に係る高強度ばねでは、素材鋼のシリコン含有量を高くして、そのフェライト及びマル

テンサイトに対する固溶強化、及び、マルテンサイト相の焼戻し時の〔フェライト+炭化物〕への分解を遅らせる作用を利用した。これは、オイルテンパー処理時の相分解温度を高温側にシフトさせ、転位の回復を促進するため、素材の組織が安定化し、靱性が向上する。焼戻し温度の上昇は、また、高温窒化処理を可能とし、表面硬さの上昇を可能とした。これらの作用により、疲労強度の向上が可能となった。焼戻し温度の上昇は、一方、弁ばね使用時の温度上昇による組織変化も防止し、転位の移動を困難にする。このような組織の安定化は、耐へたり性及び耐遅れ破壊性の向上にも有効に作用し、実使用時の耐久性向上につながるものとなっている。

【図面の簡単な説明】

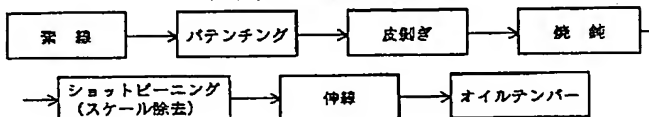
【図1】

供試材の化学組成 (重量%)

	C	Si	Mn	Cr	V
発明材	0.84	2.05	0.71	0.76	0.10
比較材	0.64	1.31	0.69	0.69	0.11

【図2】

オイルテンパー線までの製造工程



【図3】

オイルテンパー処理条件

	焼入れ	焼戻し
発明材	950℃ (高周波加熱) → 加熱開始後15秒以内に冷却	420℃ (高周波加熱) → 加熱開始後15秒以内に冷却
比較材	900℃ (雰囲気加熱) → 10分保持後冷却	420℃ (雰囲気加熱) → 5分保持後冷却

【図4】

オイルテンパー線の引張特性

	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)
発明材	2033	50.4
比較材	1989	48.8

【図5】

弁ばね諸元 (寸法単位mm)

線径	コイル径	起巻数	有効巻数	自由長
φ3.2	φ21.2	8.5	4.5	50

(D/d=6.6、ピッチ角: 6.8°)

【図6】

窒化処理条件

発明材	① 450℃×120分 ② 480℃×120分
比較材	420℃×120分

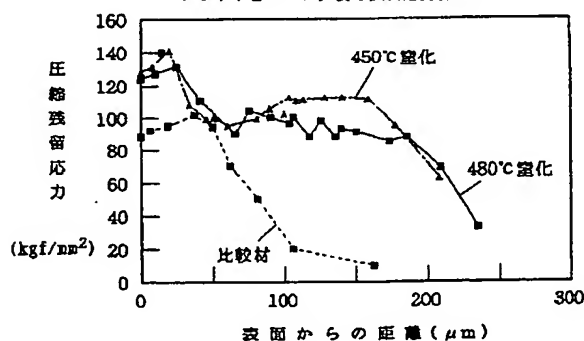
【図8】

ショットピーニング条件

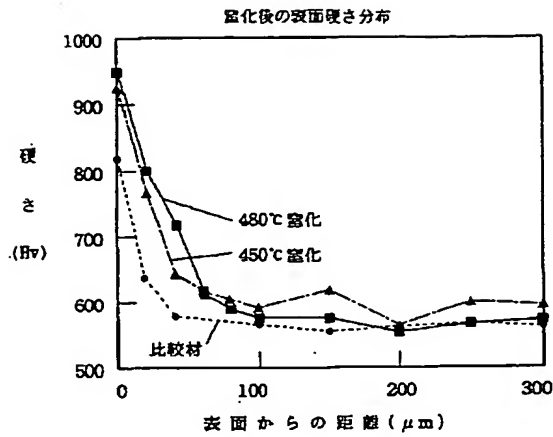
	1回目	2回目
発明材	φ0.6mm、Hv720相当	φ0.3mm、Hv720相当
比較材	φ0.7mm、Hv580相当	—

【図9】

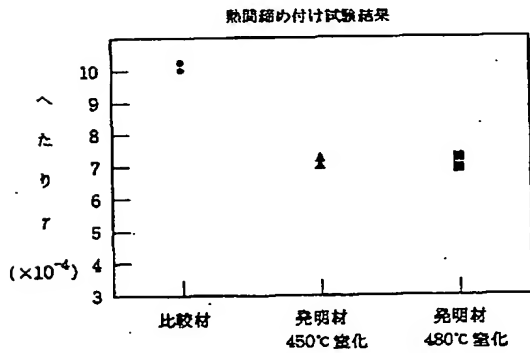
ショットピーニング後の残留応力分布



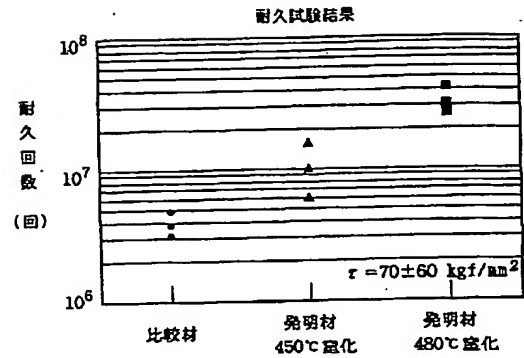
【図7】



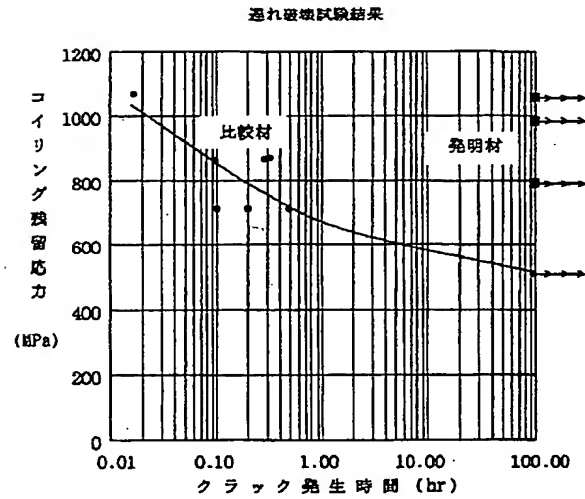
【図11】



【図10】



【図12】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

識別記号

C 2 3 C 8/26

F 0 1 L 3/10

F I

C 2 3 C 8/26

F 0 1 L 3/10

A